
研 究

人工炭酸泉浴における warming-up 効果の検討

Effectiveness of warming up by bathing in carbonated water

須藤 明治

Akiharu SUDO

Abstract

The effects of warming up by bathing in carbonated water were studied based on heart rate and integrated electromyography (iEMG) during exercise and blood constituents during recovery.

Eight subjects warmed up for 20 min in plain water (temperature: 36°C, the control group) and carbonated water (temperature : 36°C, CO² concentration : 300 ppm, the group that bathed in carbonated water). Exercise (only kicking of the legs) was performed for 4 min in a swim mill (velocity of 0.8m/sec).

The results were as follows :

- 1) The venous blood hematocrit level and white cell count of the group that bathed in carbonated water tended to be higher than those of the control group. The lactic acid levels of the group that bathed in carbonated water recovered faster than those of the control group ($p<0.01$).
- 2) iEMGs of the rectus femoris, vastus lateralis, and biceps femoris muscles increased during exercise. The group that bathed in carbonated water had lower iEMGs of the rectus femoris and vastus lateralis muscles than did the control group.

The results suggest that bathing in carbonated water is more effective than bathing in plain water to warm up for swimming.

Key words; CO₂-bathing, warming-up, Swimming

I. 諸 言

Warming-up は、試合で自己の持つ最高のパフォーマンスを引き出すために重要であり、日常のあ

らゆるスポーツ活動において実施されている¹³⁾。

先行研究では、試合と同じ形態の運動を行い、warming-up を行ってから10分から20分間に試合に臨むと良い結果が得られると言われている^{8) 18)}。

水泳においては、warming-upに温水シャワーを用い、筋温を上昇させることで、記録の向上が報告されている^{2) 24)}。

一般に炭酸泉浴では、CO₂の経皮拡張により、皮下組織の二酸化炭素分圧が上昇し、皮膚血管の拡張と毛細血管前括約筋の拡張によって、皮膚血流量の増加が認められている^{1) 4) 12) 21) 27)}ことから、今回は、運動前のwarming-upとして、人工炭酸泉浴を用い、その後に水泳運動を実施した。水泳運動中は、その動作の主働筋と拮抗筋の表面筋電図と心拍数などの変化を観察し、運動終了後の疲労回復過程では、血液性状の消長を観察した。

これらの結果より、人工炭酸泉浴の水泳におけるwarming-upとしての有効性について検討した。

II. 方 法

被験者には、大学水泳部員8名（年齢20.5 ± 1.2歳）を選び、食事摂取2時間後に、安静時の測定を行った。warming-upの条件は、炭酸浴（36℃）、人工炭酸泉浴（36℃、CO₂濃度300ppm）の2種類とし、20分間の入浴を行い、その後10分間の安静座位を保ったのち、流速0.8/secに保った流水プール（水温28℃）において4分間のキックのみの運動を行わせた。その後安静座位240分間の疲労回復過程を観察した。尚、人工炭酸泉浴は、一般家庭用水槽（水量150ℓ）に炭酸ガス浴剤を投入して溶解し、イオンアナライザー（オリオン社製）により炭酸ガス濃度を300ppmに調整した。また、安静座位では、すべての被験者が同じ条件下で衣服を着ることによって保温を努めた。

心拍数の測定は、胸部双極誘導の心電図をキック動作中の被験者より無線搬送し、ハートレーター（日本光電社製）で遠隔記録し、30秒毎に計測した。

運動終了後の疲労回復過程を観察する目的で、入浴前安静時、入浴後、運動後5分、20分、60分、120分の計6回、静脈より5mlの採血を行い、それらを用いて白血球（WBC）、ヘマトクリット値

（Ht）をそれぞれオートアナライザー（Sysmex社製cc780）でSLS-ヘモグロビン法により測定した。残りの血液を直ちに遠心して血清を分離し、この血清を用いてトータルコレステロール（T-chol）をクローズドディスクリット方式によるマルチブロック多項目自動分析システム（日本電子社製VS700）により測定した。また、血中乳酸濃度（LA）は、入浴前安静時、入浴後、運動直後、5分、20分、60分、120分の計7回指尖から採取し、これらの動脈血化された血液を用い、ラクテートアナライザー（東洋紡社製）で酵素電極法により測定した。

運動中の下肢筋群における表面筋電図を、キックの主働筋として働く大腿直筋（M. rectus femoris）外側広筋（M. vastus lateralis）拮抗筋として働く大腿二頭筋（M. biceps femoris）について測定した。筋電の抽出は直径10mmの表面電極（コンジオン製皿型）を用い（電極間2cm）、その上から防水パッドを貼り電極の防水処理を行った。定常負荷による運動中の筋放電を周波数0.5kHzで採取し、生体アンプ（日本光電社製RM6000ポリグラフ）によって増幅し筋電図をAD変換し、10秒間毎の積分値を求めた。

但し、入浴するにあたり、精神作用の影響を考慮するため、人工炭酸泉浴については、無色・無臭のものを使用し、被験者には、人工炭酸泉浴か淡水浴かを知らせずに実験を実施し、日を改めて8名全員が温浴法のみを変えて同じ実験を繰り返した。また、水泳能力、特にキックの能力の差が生じないために、被験者は、流速0.8/sec、4分間を最後まで維持できるものを選択し、その中から、運動負荷が各被験者のHRmaxの約80%に相当しているもの8名を選択した。

III. 結 果

1) 心拍数の変化について（図1）

運動により増加した心拍数は、回復過程において順次低下を示したが、運動終了1分後と2分後

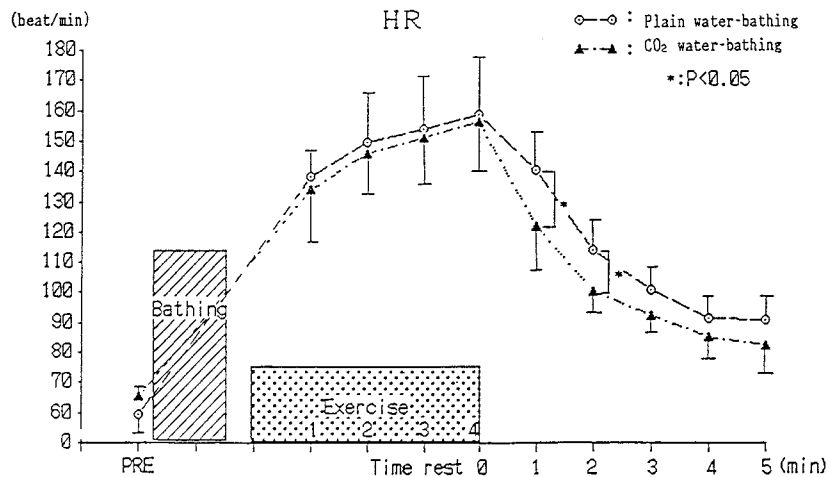


Fig.1. The effect of CO₂ water-bathing and plain water-bathing on heart rate response to swimming exercise. ▲-▲ : CO₂ water-bathing, ○-○ : Plain water-bathing, ▨ : Warming-up with bathing, ▤ : Exercise. Significant difference at $P < 0.05$.

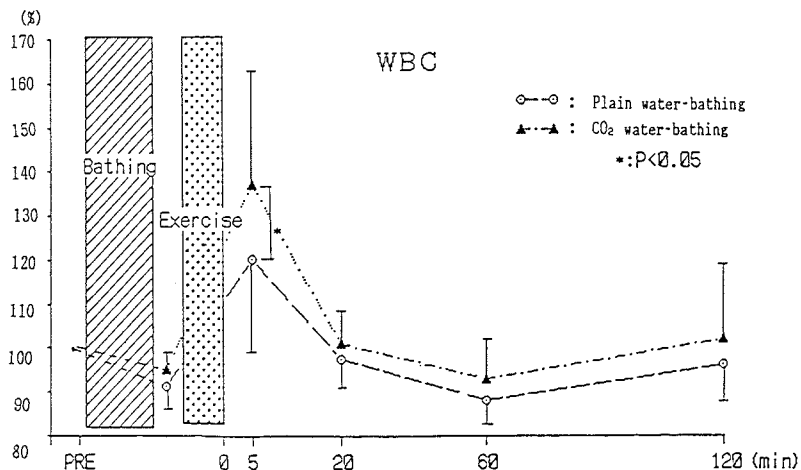


Fig.2. The effect of CO₂ water-bathing and plain water-bathing on white blood cell response to swimming exercise. ▲-▲ : CO₂ water-bathing, ○-○ : Plain water-bathing, ▨ : Warming-up with bathing, ▤ : Exercise. Abscissa is shown as time after exercise. Significant increase of WBC after exercise 5 min in CO₂ water-bathing ($P < 0.05$). Values are the differences from the pre-condition and shown as means \pm SD of 8 subjects.

では人工炭酸泉浴群が淡水浴群に比して、統計上有意に低値を示していた ($p < 0.05$)。

2) 運動後の血中代謝産物の消長について

運動終了後の疲労回復過程において静脈より採血し、安静時の測定点を基準として、その後の推移を比較した。

WBCにおいては、入浴後両群とも安静時値より低値を示したが、運動終了5分後において人工炭酸泉浴群が淡水浴群に比して、統計上有意に高値を示した ($p < 0.05$)。その後両群ともに低下する傾向を示したが、常に平均値で人工炭酸泉浴群が淡水泉浴群を上まわる値を示していた (図2)。

Htにおいては、入浴後および運動終了後に人

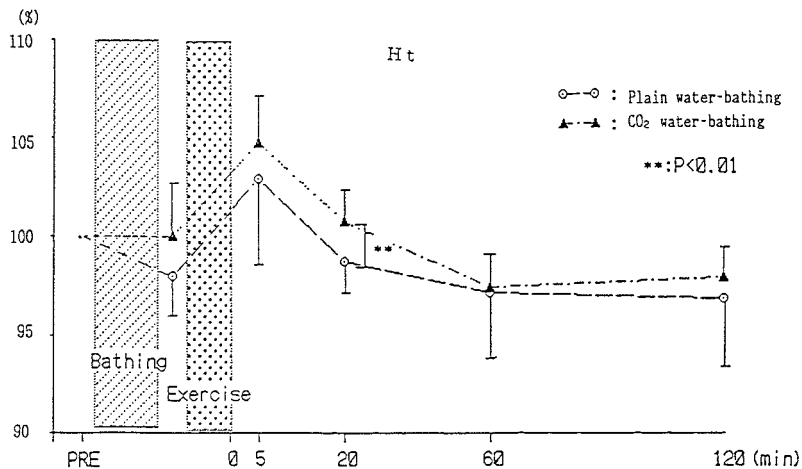


Fig.3. The effect of CO₂ water-bathing and plain water-bathing on hematocrit response to swimming exercise.

▲-▲ : CO₂ water-bathing, ○-○ : Plain water-bathing,

▨ : Warming-up with bathing, ▨ : Exercise.

Abscissa is shown as time after exercise. Significant increase of Ht after exercise 5 min in CO₂ water-bathing ($P < 0.01$). Values are the differences from the pre-condition and shown as means \pm SD of 8 subjects.

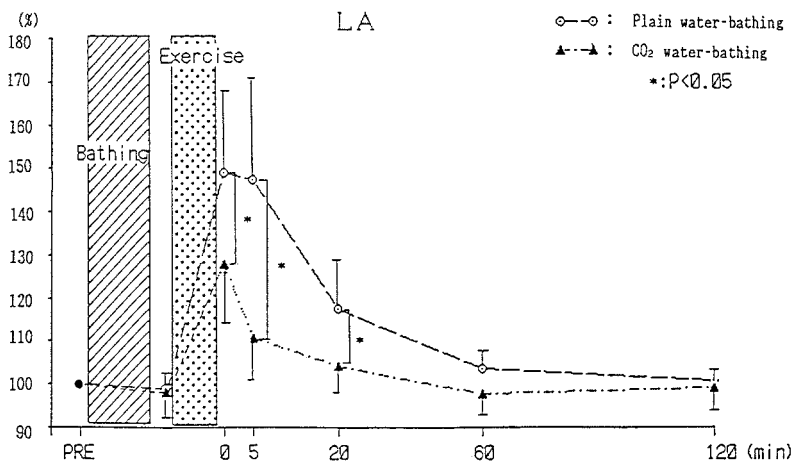


Fig.4. The effect of CO₂ water-bathing and plain water-bathing on lactate response to swimming exercise.

▲-▲ : CO₂ water-bathing, ○-○ : Plain water-bathing,

▨ : Warming-up with bathing, ▨ : Exercise.

Abscissa is shown as time after exercise. Significant difference at $P < 0.05$. Values are the differences from the pre-condition and shown as means \pm SD of 8 subjects.

工炭酸泉浴群が淡水泉浴群に比して高値を示す傾向にあり、運動終了後20分においては、統計上有意に高値を示した ($p < 0.05$)。その後60秒後には、両群ともほぼ同値を示した (図3)。

LAにおいては、運動終了直後に淡水泉浴群が

人工炭酸泉浴群の約1.7倍の血中乳酸値を示した ($p < 0.05$)。その後の回復過程も人工炭酸泉浴群における血中乳酸の低下は、淡水泉浴群に比して、運動終了20分後、60分後で統計上有意に促進されていることが認められた ($p < 0.05$) (図4)。

運動による脂質の変動は、T-cholのほかTgについても観察を行った。これらの変動は、両群ともに終了5分後に最高値を示し、時間経過とともに順次低下を示す傾向にあった。特に、T-cholにおいては、入浴後両群とも安静時値より低値を示したが、運動終了5分後および20分後において人工炭酸泉浴群が淡水泉浴群に比し、統計上有意に高値を示した ($p<0.01$)。その後両群ともに低下する傾向を示したが、常に平均値で人工炭酸泉浴群が淡水泉浴群を上まわる値を示していた (図5)。

3) 運動中の積分筋電図の変化について

図6は、左が運動開始時、中が運動開始120sec、右が運動開始240secを示し、上段が淡水浴、下段が人工炭酸泉浴時の筋電図である。これらの筋活動は、いずれの筋群においても経時的に増加する傾向を示した。また、キック動作において、蹴り下げる動作時に大腿直筋の筋活動が活発となり、蹴り上げる動作時に大腿二頭筋の筋活動が活発となり、外側広筋は他の2筋群と比べ筋活動が小さく、大腿直筋の筋活動から大腿二頭筋の筋活

動への移行する間で活動していることを観察することができた。

図7に大腿直筋、図8に外側広筋、図9に大腿二頭筋の積分筋電図の変化量 (全経過の平均値) を示した。

大腿直筋と外側広筋においては、淡水浴群が人工炭酸泉浴群に比して高い傾向を示していた。大腿二頭筋においては、両群において大きな差は認められなかった。また、これら3つの筋群において、時間の経過とともにintegrated electromyography (iEMG) が増加傾向を示した。

IV. 考 察

warming-upに関する研究において、AsmussenとBojeらは、warming-upの条件として、自転車エルゴメーターやホットシャワーなどを用いて100mと1500m走のsimulationを行った結果、warming-upの効果は、筋温の上昇によるものと結論づけている¹⁾。また、この結果と同様にMuidoらは、水泳スピードに及ぼすwarming-upの効果を検討するため、10分間のジョギング、

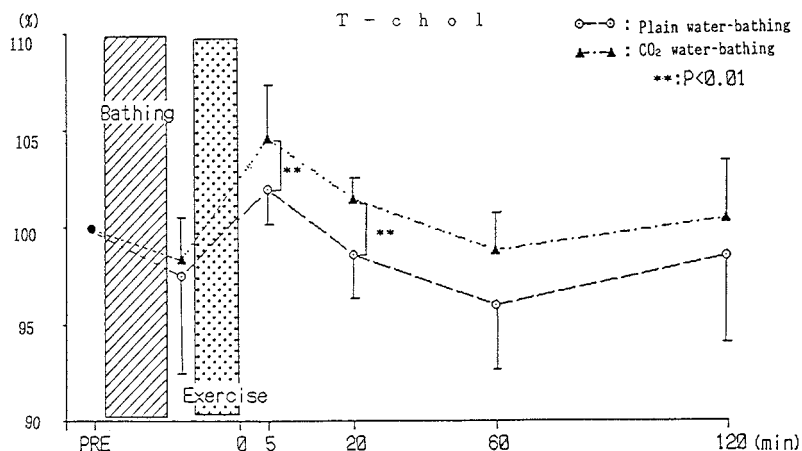


Fig.5. The effect of CO₂ water-bathing and plain water-bathing on total-cholesterol response to swimming exercise. ▲-▲: CO₂ water-bathing, ○-○: Plain water-bathing, ▨▨: Warming-up with bathing, ▤▤: Exercise. Abscissa is shown as time after exercise. Significant difference at $P<0.01$. Values are the differences from the pre-condition and shown as means \pm SD of 8 subjects.

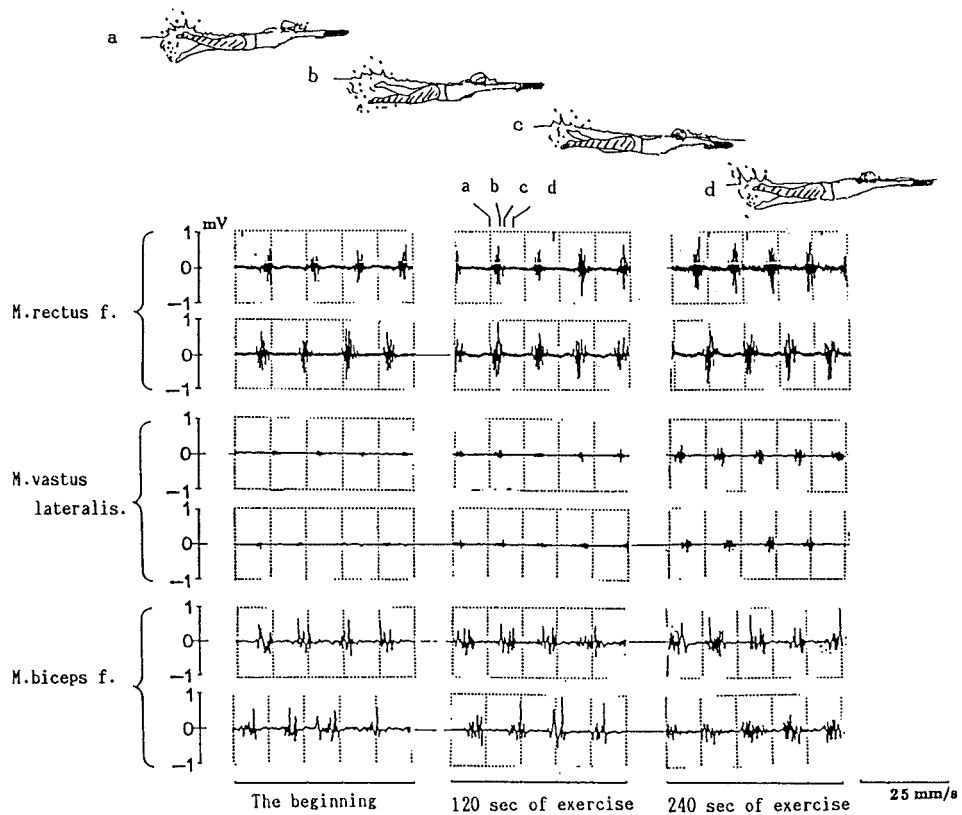


Fig.6. Typical recordings of EMG obtain at the beginning (left), 120sec (mid) and 240sec (right) of exercise. The upper records for each muscle were obtained from the plain water-bathing experiment, and the lower records were from the CO₂ water-bathing experiment.

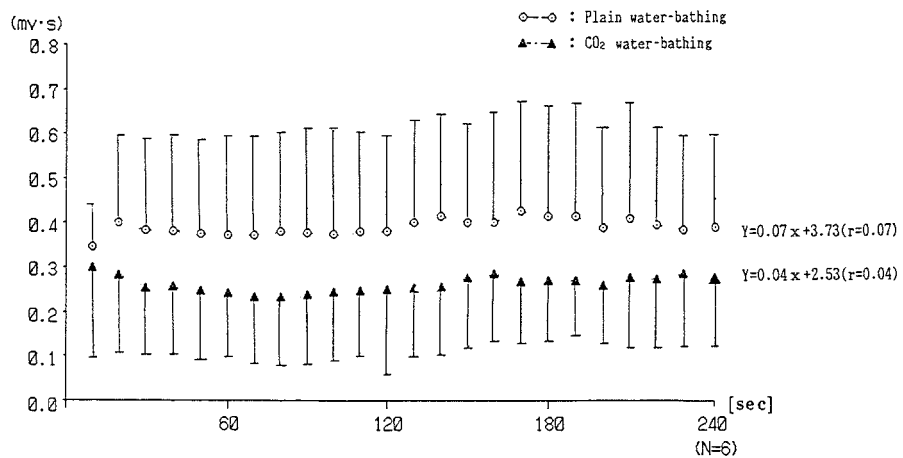


Fig.7. Changes of integrated electromyograph (iEMG) obtained from M. rectus femoris, which showed a progressive increase.

iEMG of M. rectus femoris in the CO₂ water-bathing experiment was lower than the plain water-bathing experiment during of exercise.

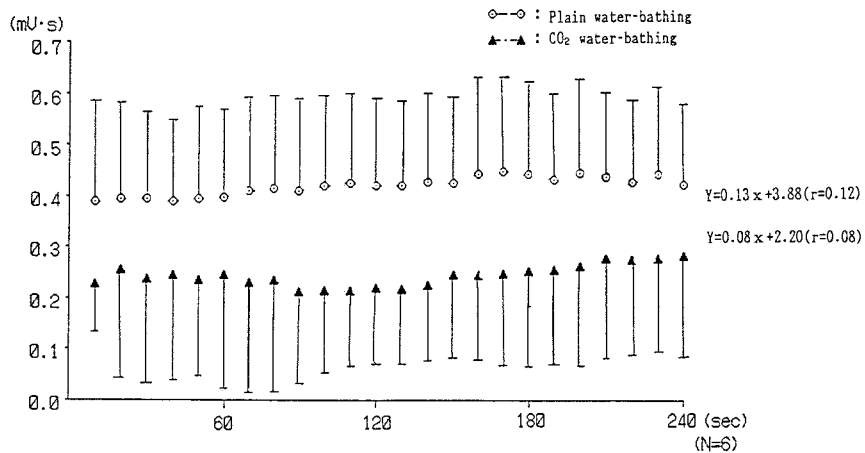


Fig.8. Changes of integrated electromyograph (iEMG) obtained from M.vastus lateralis, which showed a progressive increase.
iEMG of M.vastus lateralis in the CO₂ water-bathing experiment was lower than the plain water-bathing experiment during of exercise.

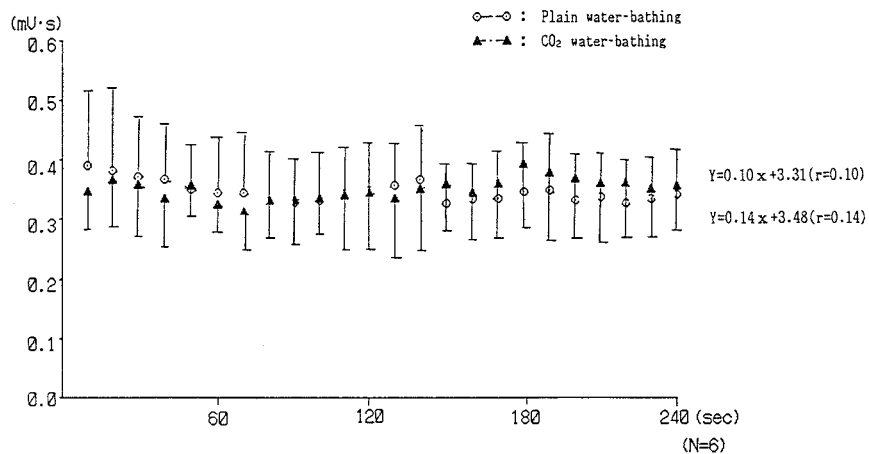


Fig.9. Changes of integrated electromyograph (iEMG) obtained from M.biceps femoris.

温水シャワー、冷水シャワーなどを行った結果、冷水シャワーだけが成績の低下をもたらしたことを報告している¹³⁾。また、Carlileらは、男子水泳選手13名において8分間の温水シャワー後に40ヤードの水泳を行わせ、温水シャワーが水泳のwarming-upに有効であることを結論づけている³⁾。

さらに、Hogbergらは、warming-up時間について検討し、15分～30分間比較的エネルギー消費の大きい運動を、主運動前15分以内に実施し、

暖かい衣服をつけて待つのがよいと結論している⁸⁾。一方、小川らは、鍛錬者14名を用いて、warming-upとして17～20分の体操・ランニングと入浴を行ったが、いずれも柔軟度に大きな効果を与えることを報告した¹⁶⁾。

つまり、warming-upでは、筋温と柔軟性の向上と維持のため、warming-up終了後15分以内に主運動を実施することが、効果を得るための重要な要素と考えられる。また、水泳競技では、水温24℃～28℃の間で競技が行われていることから、

温水シャワーの有効性も無視できない。そして、水泳競技の特性から特に肩周辺・膝周辺の柔軟性も重要であり、水泳におけるwarming-upは欠くことができないものであると考えられる。

我々は、以前、Exhaustionに至るような水泳運動を実施し、その後の疲労回復に人工炭酸泉浴を用い、疲労回復の過程を血中代謝産物の観察により検討を行った。その結果、運動直後の人工炭酸泉浴及び入浴は、体温の上昇している選手にとって代謝を増加させる傾向にあった。これは、酸素摂取量や心拍数が入浴中では高値を示し、その後の回復過程でも高値を示す傾向を示していた。しかし、人工炭酸泉浴において、血中乳酸の低下が著しく促進されていることが確認された。また、人工炭酸泉浴では、CO₂の経皮的拡散により、皮下組織の二酸化炭素分圧が上昇し、皮膚血管の拡張と皮膚血流量の増加が生じることも確認されている^{19) 22) 26)}。

そこで、今回運動前のwarming-upとして、このような作用をもつ人工炭酸泉浴を用い、その後に水泳運動を実施し、人工炭酸泉浴の水泳におけるwarming-upとしての有効性について検討した。

1) 心拍数の変化について

心拍数が運動中には同じ値を示していたにもかかわらず、運動終了1分後と2分後では、人工炭酸泉群は淡水泉群に比して、有意に低値を示していた。これより、人工炭酸泉群では、呼吸・循環系において効率のよい運動が実施されていたのではないかと推察された^{5-7) 9) 10) 26)}。

2) 運動後の血液性状の消長について

WBC、Htなどの血球成分の変動については、人工炭酸泉群において、運動後に統計上有意な高値が維持されており、淡水浴群と比べて血液濃縮傾向が認められた。人工炭酸泉浴では、経皮拡散による皮下組織の二酸化炭素分圧上昇とそれに伴う皮膚血管の拡張と皮膚血流量の増加^{18) 27)}から、淡水泉群より血球数が高値を示し、さらに保温作

用が組織代謝に効率よく作用している点も推察された。

血中乳酸値については、運動終了直後に、人工炭酸泉浴群は淡水泉浴群の59%であり、その後の回復過程も人工炭酸泉浴群における血中乳酸の低下は、淡水浴群に比して、著しく促進される傾向が観察された。

これより、人工炭酸泉浴は、運動中における糖質代謝などを効率よく促し、回復過程においても影響を与えていることが示唆された。

運動による脂質の変動については、T-cholにおいて人工炭酸泉群は、運動終了5分後および20分後で淡水泉群に比して有意な高値を示し、常に平均値で淡水泉群を上回る値を示しており、活発な脂質代謝が行われている可能性が示された。

つまり、人工炭酸泉浴におけるwarming-up効果としては、糖・脂質代謝を促進させ、水泳運動時の組織代謝に効率のよい働きかけを行い、さらに、運動後の疲労代謝産物の蓄積をより少なくする傾向が示唆された。

3) 運動中の積分筋電図の変化について

筋が疲労すると、一定張力負荷における筋電図積分値が増加し、最大随意収縮時の筋活動レベルが減少することが報告されている^{14) 15) 17) 22) 23) 24) 25)}。

また、水泳中の筋疲労についても、一定速度において筋疲労に伴う筋電図積分値の増加が確認されている²⁰⁾。

そこで、今回はキックのみの運動を選択し、warming-upの条件として人工炭酸泉浴群と淡水浴群の両群を設定し比較を行った。その結果、筋放電パターンから、キック動作において、蹴り下げる動作時には大腿直筋、蹴り上げる動作時には大腿二頭筋がそれぞれ活動し、外側広筋は補助的な活動を行っていることが観察された。しかし、これらには個人的差異が存在し、今後の更なる検討が必要であると考えられた。また、筋電図積分値では、すべての筋群において時間の経過とともにiEMGが漸進的に増加し、筋の疲労を確認する

ことができた。しかし、大腿直筋と外側広筋においては、淡水浴群が人工炭酸泉浴群に比して高値を示し、一方、大腿二頭筋においては、両群において大きな差は認められなかった。このような筋群による違いは、大腿直筋と外側広筋は、蹴り下げる時の主働筋であり、大腿二頭筋は拮抗筋であることなど運動形態に起因している点が推察されるが、これが水泳のキック動作特有のものであるかについては今後更なる検討が必要である。

一方、筋肉組織 P_{CO_2} と P_{O_2} の動向を観察した先行研究では、人工炭酸泉浴(37℃, 370ppm)において、入浴前の値を100%とした時、入浴後では P_{CO_2} が28.8%、 P_{O_2} が35.1%の増加を示した¹¹⁾。末梢組織に拡散した CO_2 が血中に移行し、血液中のpHが低下し、ヘモグロビンと酸素の解離性が増強され、特に保温作用により筋肉組織の血流量が増し、 P_{O_2} の上昇を来し、その結果、酸素解離曲線は右に移行して組織への酸素供給を活発にすると考えられる。

これらの結果により、人工炭酸泉浴群では淡水泉浴群に比べ、筋肉組織において酸素供給がより活発に行われ、効率のよい運動が実施できる状態となり、人工炭酸泉浴の有する高いwarming-up効果が示唆された。

V. まとめ

人工炭酸泉浴と淡水浴のwarming-up効果を比較した結果、人工炭酸泉浴では、より高い静脈血濃縮傾向と、血中乳酸の運動後蓄積の減少傾向が観察された。また、運動中の筋電図積分値では、人工炭酸泉浴群において主働筋の大腿直筋と外側広筋において低値が観察され、効率の良い運動が実施されていることが推察された。

以上により、本研究において淡水浴に比べて人工炭酸泉浴は、水泳におけるwarming-up効果が高いことが示唆された。

引用文献

- 1) Amelung, W., and Evers, A. (1962) Handbuch der baderund klimaheikun-de. VIII.8. Kohlensäurewasser : 413-428.
- 2) Asmussen, E. and Boje, O (1945) Body temperature and capacity for work. Acta. Physiol. Scand 10 : 1-22
- 3) Carlile, F., (1956) Effect of preliminary passive warming on swimming performance. Res. Quart 27 : 143-151.
- 4) Diji, A. (1958) Local vasodilator action of carbon dioxide on blood vessels of the hand. J. Appl. Physiol 14 : 415-416.
- 5) Forster, C., Dymond, D., Carpenter, J. and Donard, H. (1982) Effect of warming-up on left ventricular response to sudden strenuous exercise. J. Appl. Physiol 53 : 380-383
- 6) Gwon, O., Fukupka, Y., Sone, R., Nabekura, Y., and Iegami, H., (1991) Circulatory responses to sudden strenuous exercise. J. Sports Med 40 : 483-492.
- 7) Gwon, O., Nabekura, Y., and Iedami, H., (1991) Effects of warming-up on circulatory responses to sudden strenuous exercise. J. Sports Med 40 : 174-186.
- 8) Hogberg, P., and Ljunggren, O., (1972) Uppvarmningens inverkan på kroppens funktioner. Svensk idrott 40. Textbook of work physiology : 524-525.
- 9) Inger, F. and Stromme, S.B. (1979) Effect of active, passive or no warming-up on the physical response to heavy exercise. Eur. J. Appl. Physiol 40 : 273-282.
- 10) Jaffe, M.D. and Quinn, N.K. (1980) Warming-up phenomenon in angina pectoris. Lancet 2 : 934-936
- 11) Komoto, Y., Kohmoto, T., Sunagawa, M., Yoroze, H., Kubo, Y., and Eguchi, Y., (1985) Experimental study on an effect of artificial CO_2 baths upon tissue perfusion. Jap. J. Biometeor. 22 : 31-35.
- 12) Kowarchik. (1948) Physikalische Therapie. Die Kohlensäurebäder : 120-128
- 13) Muido, L. (1965) The influence of body temperature on performances in swimming. Acta physiol. Scand 12 : 102-109.
- 14) Nagate, A., Muro, M., Moritani, T. and Yoshida, T. (1981) Anaerobic threshold determination by blood lactate and myoelectric signals. Jap. J. Physiol 31 : 585-597
- 15) 永田 (1984) 筋と筋力の科学. 不味堂出版 : 115-125.
- 16) 小川新吉・阿久津邦男 (1962) Warming-upの生理学的研究. Warming-upによる身体柔軟度の変

- 化. 東京教育大学紀要2 : 143-152
- 17) Okada, S., Hirakawa, K., Takada, Y., and Oda, Y., (1992) Determination of anaerobic threshold in the elderly using integrated electromyography signals. *J. Sports Med* 41 : 183-189.
 - 18) Richard, L., and Michelle, M. (1982) Delayed kinetics of respiratory gas exchange in the transition from prior exercise. *J. Appl. physiol* 52 : 921-929
 - 19) Sidou, A., Taguchi, N., Shibayama, H., Sunagawa, T., and Yorozu, H., (1990) Changes in cellular elements of the blood after the exhaustive exercise. *J. Sports Med* 39 : 787.
 - 20) 須藤明治・若吉浩二・田口信教・芝山秀太郎 (1991) EMG 積分値による水泳中の筋疲労について. 日本体育学会第47回大会号. 921.
 - 21) Stein, I.D. and Weinstein, I. (1942) the value of carbon dioxide baths in the treatment of peripheral vascular disease and allied conditions. *Am. Heart* 23 : 349-361.
 - 22) Taguchi, N., Sudou, A., Shibayama, H., Sunagawa, T., and Yorozu, H. (1990) Effects of CO₂-bathing on the changes of blood constituents due to the swimming exercise. *J. Sports Med* 39 : 561.
 - 23) Terasawa, K., Fujiwara, T., Yanagisawa, K., Sakai, A., and Ueda, G. (1992) EMG analysis of muscle fatigue during isometric contraction of the indicis proprius 41 : 108-116
 - 24) Thompson, H. (1958) Effect of warming-up upon physical performance in selected activities. *Res. Quart* 29 : 231-246.
 - 25) Viitasalo, J.T., Luhtanen, P., Rahnkila, P. and Rusko, H. (1985) Electromyographic activity related to aerobic and anaerobic threshold in ergometer bicycling. *Acta Physiol. Scand* 124 : 287-293.
 - 26) Versteeg, P.G.A., Sampurno, S.D., Sipkema, P. and Elzinga, G. (1981) Control of cardiac output in the exercising dogs different types of work load. *Cardiovasc. Res* 15 : 151-158.
 - 27) 萬 秀憲・久保裕一郎・江口泰輝 (1984) 人工炭酸泉に関する研究 (第2報) 炭酸ガス浴剤の皮膚血流増加作用と保温作用. *日温気物医誌* 47 : 130-136.